



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 05 SEP. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)





26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

**BREVET D'INVENTION**  
**CERTIFICAT D'UTILITÉ**  
Code de la propriété intellectuelle-Livre VI



**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2**

Réservé à  
L'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>30 OCT 2002</b> LIEU <b>38 INPI GRENOBLE</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0213611</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE <b>30 OCT. 2002</b> PAR L'INPI		<b>1</b> NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  <b>Cabinet Michel de Beaumont</b> <b>1 rue Champollion</b> <b>38000 GRENOBLE</b>	
Vos références pour ce dossier (facultatif) B5756			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2</b> NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de Brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date / / N° _____ Date / /	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/> N° _____ Date / /	
<b>3</b> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)  TRANSFORMATEUR À CHANGEMENT DE MODE			
<b>4</b> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date / / Pays ou organisation _____ N° _____ Date / / Pays ou organisation _____ N° _____ Date / / <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé "Suite"	
<b>5</b> DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé "Suite"	
Nom ou dénomination sociale		STMicroelectronics SA	
Prénoms			
Forme juridique		Société anonyme	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
ADRESSE	Rue	29, Boulevard Romain Rolland	
	Code postal et ville	92120	MONTRouGE
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

**BREVET D'INVENTION**  
**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle-Livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

 Réservé à  
 L'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE **30 OCT 2002**LIEU **38 INPI GRENOBLE**

N° D'ENREGISTREMENT

**0213611**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

Vos références pour ce dossier :

(facultatif) B5756

**6 MANDATAIRE**

Nom

Prénom

Cabinet ou Société

Cabinet Michel de Beaumont

N° de pouvoir permanent et/ou  
de lien contractuel

ADRESSE

Rue

1 Rue Champollion

Code postal et ville

38000

GRENOBLE

N° de téléphone (facultatif)

04.76.51.84.51

N° de télécopie (facultatif)

04.76.44.62.54

Adresse électronique (facultatif)

cab.beaumont@wanadoo.fr

**7 INVENTEUR (S)**

Les inventeurs sont les demandeurs

☐ Oui☒ Non

Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur (s) séparée

**8 RAPPORT DE RECHERCHE**

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat  
ou établissement différé☒☐

Paiement échelonné de la redevance

Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques

☐ Oui☒ Non**9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)☐ Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :Si vous avez utilisé l'imprimé "Suite", indiquez  
le nombre de pages jointes**10 SIGNATURE DU DEMANDEUR  
OU DU MANDATAIRE**  
(Nom et qualité du signataire)Michel de Beaumont  
Mandataire n° 92-1016VISA DE LA PREFECTURE  
OU DE L'INPI

D.R.G.R.

### TRANSFORMATEUR À CHANGEMENT DE MODE

La présente invention concerne le domaine des transformateurs à changement de mode qui sont utilisés pour convertir une tension de mode commun en mode différentiel et inversement.

5 La figure 1 illustre, de façon très schématique et sous forme de blocs, un tel transformateur du type auquel s'applique la présente invention.

Il s'agit d'une structure de conversion d'une tension  $V_c$  de mode commun référencée à la masse M ou à la terre en une  
10 tension différentielle  $V_d$  fournie entre deux bornes 2, 3 de sortie. Une borne 4 d'entrée-sortie de mode commun est, par exemple, en l'air (dans une application à la réception de signaux radiofréquence).

L'invention concerne plus particulièrement de tels  
15 convertisseurs dits distribués (généralement dénommés BALUN) réalisés à partir de pistes conductrices couplées. De tels convertisseurs sont dits de type Marchand et ils sont connus pour être large bande.

La figure 2 représente le schéma électrique d'un  
20 transformateur à changement de mode de type Marchand auquel s'applique la présente invention. Côté mode commun (entrée 4 et masse M), un premier enroulement constitué de deux sections 5 et

6 de spires conductrices est couplé avec un deuxième enroulement constitué toujours de deux sections 7 et 8 côté mode différentiel. Les sections 7 et 8 sont électriquement en série entre les bornes 2 et 3 et présentent un point milieu 9  
5 constituant la masse du mode différentiel (éventuellement isolée de la masse du mode commun). Les longueurs des différents enroulements sont toutes identiques, ce qui caractérise un convertisseur de type Marchand. Ces longueurs sont toutes égales à  $\lambda/4$ , où  $\lambda$  correspond à la longueur d'onde de la fréquence  
10 centrale de la bande passante du convertisseur considéré.

La relation qui lie la longueur d'onde  $\lambda$  et la fréquence est la suivante :

$\lambda = c/f\sqrt{\epsilon}$ , où  $c$  représente la célérité de la lumière dans le vide, où  $\epsilon$  représente la permittivité du substrat et où  
15  $f$  représente la fréquence (ici la fréquence centrale de la bande passante souhaitée).

Dans un convertisseur du type de la figure 2, cette fréquence centrale est définie comme étant la fréquence médiane de la bande passante correspondant à  $\pm 3\text{dB}$  par rapport à  
20 l'atténuation minimum du transformateur.

Un exemple de transformation de changement de mode de type Marchand auquel s'applique la présente invention est décrit, par exemple, dans l'article "A Silicon Monolithic Transmission Balun with Symmetrical Design" de Yeong J. et  
25 Yichenglou, paru dans IEEE Electron devices letters, volume 20, n°4 en avril 1999.

Un inconvénient des transformateurs à changement de mode constitués de pistes conductrices sur des niveaux de métallisations différents dans des structures intégrées est lié  
30 à la taille occupée par ces transformateurs. Par exemple, pour des fréquences de l'ordre du gigahertz, il est fréquent de devoir dimensionner les lignes avec des longueurs de plusieurs centimètres, ce qui est loin d'être négligeable dans l'encombrement d'un circuit intégré ou imprimé.

Une autre difficulté réside dans le fait que, plus les tronçons sont longs, plus les pertes d'insertion sont élevées. Or, dans des applications intégrées (par exemple, la téléphonie mobile), les signaux reçus sont souvent de faible intensité et  
 5 il faut donc minimiser les pertes d'insertion.

La présente invention vise à proposer une nouvelle structure de transformateur à changement de mode, d'encombrement moindre que des structures classiques pour une même fréquence centrale.

10 L'invention vise également à proposer un tel transformateur qui puisse être réalisé en appliquant des technologies du type de celles utilisées dans la fabrication des circuits intégrés.

L'invention vise également à proposer une solution, qui  
 15 diminue les pertes d'insertion.

Pour atteindre ces objets et d'autres, la présente invention prévoit un transformateur à changement de mode comportant une première ligne en mode commun et une deuxième ligne en mode différentiel, chaque ligne comprenant deux  
 20 tronçons en série respectivement couplés avec un des deux tronçons de l'autre ligne et tous les tronçons ayant les mêmes longueurs, la ligne de mode commun étant connectée en série avec un condensateur, pour abaisser la fréquence centrale de la bande  
 25 passante du transformateur, les longueurs en  $\lambda/4$  des tronçons étant choisies pour correspondre à une fréquence centrale supérieure à la fréquence centrale souhaitée pour le transformateur.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la valeur du condensateur C respecte la relation suivante :

30 
$$C = \frac{1}{2\pi f_0 Z_c \operatorname{tg}(\beta L)}$$

où  $f_0$  désigne la fréquence centrale de la bande passante souhaitée, où L désigne la longueur de deux tronçons en série calculée en  $\lambda/2$  à partir de ladite fréquence centrale supérieure à la fréquence centrale souhaitée, où  $Z_c$  désigne

l'impédance caractéristique de la ligne, et où  $\beta$  désigne la constante de phase.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le transformateur est réalisé dans deux niveaux conducteurs séparés par un diélectrique, deux tronçons et une armature du condensateur étant tracés dans chaque niveau de métallisation.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le transformateur est appliqué à des fréquences de l'ordre du gigahertz.

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1, décrite précédemment, représente le schéma bloc d'un transformateur à changement de mode du type auquel s'applique la présente invention ;

la figure 2 représente le schéma électrique équivalent d'un transformateur à changement de mode classique ;

la figure 3 représente le schéma électrique équivalent d'un transformateur à changement de mode selon la présente invention ; et

la figure 4 représente différentes courbes de réponse d'un transformateur à changement de mode selon la présente invention.

Les mêmes éléments ont été désignés par les mêmes références aux différentes figures. Pour des raisons de clarté, seuls les éléments qui sont nécessaires à la compréhension de l'invention ont été représentés aux figures et seront décrits par la suite. En particulier, l'origine et la destination des signaux convertis par le transformateur à changement de mode n'ont pas été détaillées et ne font pas l'objet de l'invention. Celle-ci s'applique quel que soit le type de signaux devant être traités. De plus, la réalisation pratique des pistes

conductrices n'a pas été détaillée, l'invention pouvant être mise en oeuvre en appliquant des technologies courantes.

Une caractéristique de l'invention est d'insérer, entre une des extrémités de l'enroulement de mode commun et la masse, un condensateur. Ce condensateur permet de réduire la fréquence centrale de la bande passante du transformateur réalisé, alors même que ses enroulements sont dimensionnés pour des fréquences de fonctionnement plus élevées, donc avec une longueur plus faible.

La figure 3 représente le schéma équivalent d'un transformateur à changement de mode selon la présente invention. Comme précédemment, un tel convertisseur 10 comporte une entrée de mode commun d'application d'une tension  $V_c$  référencée à une masse  $M$  sur une première borne 4, et une sortie de mode différentiel entre deux bornes 2 et 3 fournissant une tension  $V_d$ .

Du point de vue du schéma, le deuxième enroulement de mode différentiel constitué des tronçons 7' et 8' conducteurs entre lesquels se trouve le point milieu 9 du mode différentiel n'est pas modifié par rapport à un transformateur classique, si ce n'est par les longueurs des tronçons 7' et 8' pour une fréquence centrale de bande passante donnée.

Côté mode commun, l'invention prévoit un condensateur  $C$  en série avec les deux tronçons 5' et 6' du premier enroulement.

Une caractéristique de la présente invention est de dimensionner en  $\lambda/4$  les tronçons conducteurs, fonction de la longueur d'onde centrale  $\lambda$  de la bande passante du transformateur, à partir d'une fréquence sensiblement supérieure à celle pour laquelle est destiné ce transformateur. Puis, par l'introduction du condensateur  $C$ , on rabaisse la fréquence de fonctionnement du transformateur vers la bande de fréquences souhaitée.

Un avantage d'une telle structure est qu'en dimensionnant le transformateur pour des fréquences plus



élevées, les longueurs respectives des pistes conductrices sont moindres.

Un autre avantage est qu'en diminuant les longueurs des pistes conductrices, on induit une diminution des pertes d'insertion du transformateur ainsi constitué.

Le prix à payer pour la mise en oeuvre de l'invention est une légère dégradation de la bande passante du transformateur (c'est-à-dire de la largeur de bande du transformateur constitué).

La figure 4 illustre la mise en oeuvre de l'invention en représentant plusieurs réponses en fréquence de transformateurs à changement de mode. La figure 4 représente la réponse en fréquence de trois transformateurs à changement de mode ayant des tronçons conducteurs de longueurs identiques et dimensionnés par rapport à une fréquence centrale de 3,5 GHz (courbe 20), respectivement affectés d'un condensateur de 1 picofarad (courbe 21) et d'un condensateur de 2 picofarads (courbe 22).

Comme il ressort de la figure 4, avec un condensateur de 1 picofarad, la fréquence centrale du transformateur est ramenée à environ 1,5 GHz tandis qu'avec un condensateur de 2 picofarads, cette fréquence centrale est encore abaissée jusqu'à environ 0,9 GHz.

Bien que cela n'apparaisse pas sur la figure, les inventeurs ont noté que les pertes d'insertion respectives des trois transformateurs illustrés par les courbes respectives 20, 21 et 22 sont de -0,6 dB, -0,7 dB, et -0,9 dB. Les pertes d'insertion augmentent donc légèrement avec l'introduction du condensateur C. Toutefois et comme l'illustre la courbe en pointillés 30 de la figure 4, pour réaliser un transformateur à une fréquence centrale de 1,5 GHz sans condensateur, les pertes d'insertion seraient nettement supérieures (-1,1 dB). Par conséquent, l'adjonction d'un condensateur par rapport à un transformateur dimensionné pour une fréquence supérieure conduit

bien à une diminution des pertes d'insertion par rapport à un transformateur classique.

Dans l'exemple de la figure 4, le transformateur a été réalisé sur un substrat de verre avec deux spirales dans des  
 5 niveaux de métallisation en cuivre, isolés l'un de l'autre par un diélectrique. Dans une telle réalisation, un transformateur dimensionné pour fonctionner à 1,5 GHz (courbe 30, figure 4) occuperait une surface de  $3,2 \times 1,6 \text{ mm}^2$ . Un transformateur dimensionné pour fonctionner à une fréquence de 3,5 GHz occupe  
 10 une surface de  $2 \times 1,1 \text{ mm}^2$ . De plus, la réalisation du condensateur est particulièrement aisée et ne requiert aucun niveau supplémentaire. En effet, on peut utiliser le diélectrique et les deux niveaux de métallisation pour ses armatures.

15 Un autre avantage de l'invention qui ressort de la figure 4 est qu'avec un même transformateur dimensionné pour une fréquence relativement élevée, on peut modifier la fréquence centrale, du transformateur simplement en changeant la valeur du condensateur C. Il en découle une possibilité de créer des  
 20 modèles de circuits intégrés identiques pour des applications différentes.

Pour la mise en oeuvre de l'invention, on pourra appliquer la relation suivante afin de dimensionner les constituants respectifs du transformateur :

25 
$$C = \frac{1}{2\pi f_0 Z_c \text{tg}(\beta L)} ,$$

où  $f_0$  désigne la fréquence centrale de la bande passante souhaitée, où L désigne la longueur de chaque piste conductrice (longueur cumulée des tronçons 5', 6' et 7', 8')  
 30 calculée en  $\lambda/2$  ( $2 \times \lambda/4$ ) à partir d'une fréquence plus élevée que la fréquence centrale  $f_0$  souhaitée), où  $Z_c$  désigne l'impédance caractéristique de la ligne (supposée identique pour chaque enroulement), et où  $\beta$  désigne la constante de phase.

L'application de cette relation pour dimensionner un transformateur propre à l'invention est à la portée de l'homme

du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus et en fonction de son application. Par exemple, on pourra utiliser les techniques décrites dans l'article déjà cité.

Bien entendu, la présente invention est susceptible de  
5 diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme  
de l'art. En particulier, les dimensions à donner aux  
enroulements d'un transformateur à changement de mode selon  
l'invention, en fonction de la fréquence de fonctionnement  
souhaitée et du condensateur introduit en série avec le mode  
10 commun, est à la portée de l'homme du métier en fonction de  
l'application et des indications fonctionnelles données ci-  
dessus. De plus, on notera, que, en pratique, plusieurs  
transformateurs à changement de mode peuvent être associés en  
série pour augmenter la bande passante.

REVENDEICATIONS

1. Transformateur à changement de mode comportant une première ligne (5, 6) en mode commun et une deuxième ligne (7, 8) en mode différentiel, chaque ligne comprenant deux tronçons en série respectivement couplés avec un des deux tronçons de l'autre ligne et tous les tronçons ayant les mêmes longueurs, caractérisé en ce que la ligne de mode commun est connectée en série avec un condensateur (C), pour abaisser la fréquence centrale de la bande passante du transformateur, les longueurs en  $\lambda/4$  des tronçons étant choisies pour correspondre à une fréquence centrale supérieure à la fréquence centrale souhaitée pour le transformateur.

2. Transformateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la valeur du condensateur C respecte la relation suivante :

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 Z_c \operatorname{tg}(\beta L)},$$

où  $f_0$  désigne la fréquence centrale de la bande passante souhaitée, où L désigne la longueur de deux tronçons en série calculée en  $\lambda/2$  à partir de ladite fréquence centrale supérieure à la fréquence centrale souhaitée, où  $Z_c$  désigne l'impédance caractéristique de la ligne, et où  $\beta$  désigne la constante de phase.

3. Transformateur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il est réalisé dans deux niveaux conducteurs séparés par un diélectrique, deux tronçons et une armature du condensateur étant tracés dans chaque niveau de métallisation.

4. Transformateur à changement de mode selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué à des fréquences de l'ordre du gigahertz.

1/1

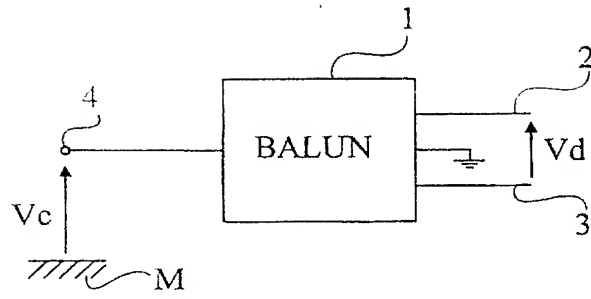


Fig 1

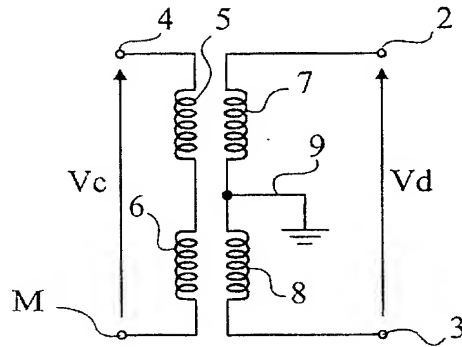


Fig 2

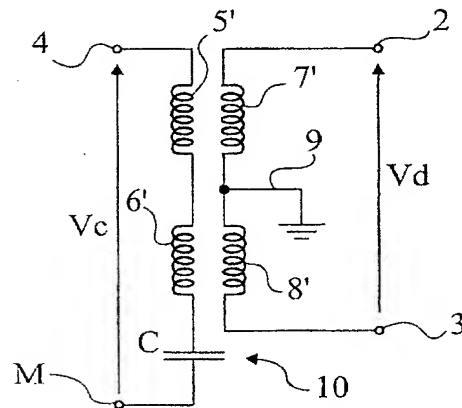


Fig 3

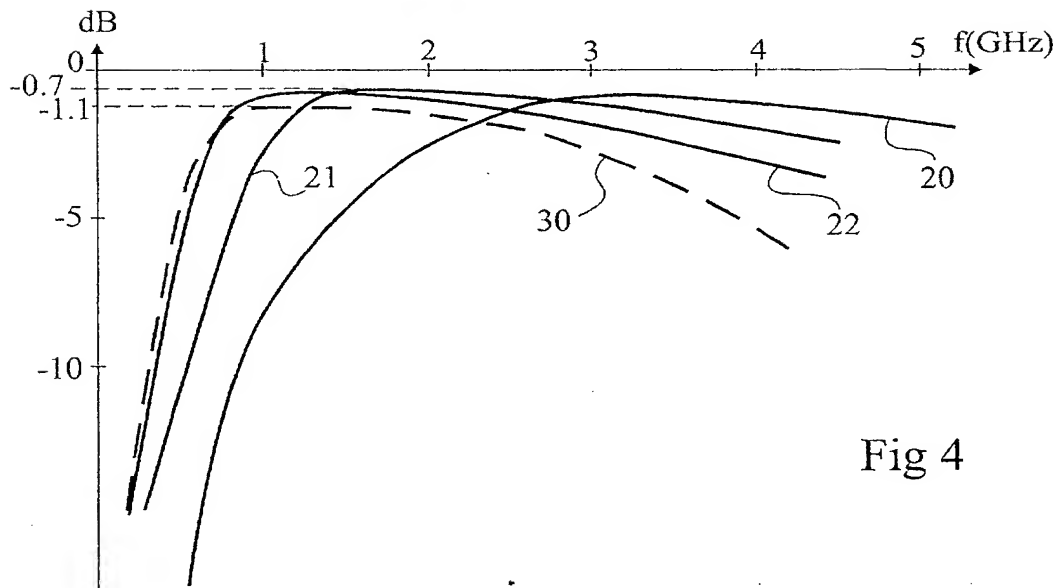


Fig 4



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

**BREVET D'INVENTION,  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle-Livre VI



DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) PAGE N°1/ 1

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B5756	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02 136 11	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
TRANSFORMATEUR À CHANGEMENT DE MODE			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
STMicroelectronics SA			
DESIGNE (NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite "Page N°1/1" S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Prénoms & Nom		Hilal Ezzeddine.	
ADRESSE	Rue	28 Ter, Rue du Rempart	
	Code postal et ville	37000	TOURS, FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Prénoms & Nom			
ADRESSE	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Prénoms & Nom			
ADRESSE	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE (S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
Michel de Beaumont Mandataire n° 92-1016 Le 30 octobre 2002			

